REALE ACCADEMIA DEI LINCEI
Anno CCLXXIV (1876-77)

SULL'ANATOMIA E FISIOLOGIA DELLA RETINA

PEL

PROF. FRANZ BOLL



Lavoro eseguito nel Laboratorio di Anatomia e Fisiologia comparata della R. Università di Roma. VIII.

Firenze — ROMA — Torino
Ermanno Loescher e C.°
1877

Serie 3.ª — *Memorie della Classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali.*
Vol. I.° — *Seduta del 3 dicembre 1876.*

Roma — Tipografia Salviucci

Dopochè Enrico Mueller per il primo ammise che gli elementi riuniti nello strato a mosaico della retina, cioè i bastoncelli ed i coni, fossero gli organi terminali del nervo ottico, i micrografi non hanno mai cessato di cercare la prova anatomica del fatto. Ciononostante, per una lunga serie di anni, i più distinti anatomici non sono riusciti a trovare la continuità nervosa fra la sostanza dei bastoncelli e dei coni, e le fibre del nervo ottico. Il risultato negativo delle loro ricerche, indusse parecchi scienziati a lasciare la via nella quale era entrato Enrico Mueller ed a cercare le terminazioni del nervo ottico in altri strati della retina. Così è avvenuto che le cellule della *Membrana fenestrata retinae* fossero considerate quali organi terminali del nervo ottico ; ed io stesso, in un lavoro dell'anno 1871, di cui conservo ancora il manoscritto, ammisi che le cellule dell'epitelio esagonale pigmentato della retina, fossero i veri organi percipienti del nervo ottico.

Io credo che si sia commesso un errore nella ricerca anatomica, poichè si volle partire da un punto di vista troppo ristretto, e ritrovare nello strato dei bastoncelli e coni lo stesso semplice schema di terminazione nervosa che era stato riconosciuto negli altri neuroepitelj più semplici: p. e. negli organi dell' olfatto e del gusto. Si ammette che in questi ultimi organi una fibra nervosa, sottile e varicosa, finisca per riunirsi con una cellula epiteliale, e si è voluto ad ogni costo stabilire anche nella retina il medesimo modo di terminazione, senza riuscirvi.

Nello stato attuale della questione, credo che soltanto i più ostinati ottimisti conservino ancora la speranza di trovar finalmente quei fili nervosi varicosi tanto desiderati, che dovrebbero riunire la sostanza dei bastoncelli e coni colle fibre del nervo ottico. Io non sono ottimista come loro, ma nello stesso tempo non credo di dovere negare ai bastoncelli e coni la qualità di organi percipienti della retina. La mia convinzione è questa: che le unità fisiologiche le quali percepiscono la luce ed i colori sono organismi anatomici assai complicati, e che essi debbono essere costituiti dalla riunione dei bastoncelli e coni, da un lato, e delle cellule del pigmento retinico dall'altro. Istologicamente questi organismi dovrebbero essere considerati come cellule gemelle o doppie, analoghe alle cellule terminali del nervo acustico nella chiocciola. Credo che ognuno di questi organismi terminali gemelli, sia unito alle fibre del nervo ottico per mezzo dei filamenti pigmentari, avendo io potuto seguire i loro prolungamenti non più pigmentati attraverso la membrana limitante esterna. Del resto, non credo inverosimile che questi organismi, relativamente tanto complicati,

abbiano ancora qualche altro mezzo di connessione col sistema nervoso, come sarebbero p. e. le fibre dei bastoncelli e dei coni.

Non intendo in questa Memoria esporre dettagliatamente le ragioni anatomiche sulle quali è fondata questa mia convinzione. Lo farò forse in altra occasione. Ma intanto i fatti che andrò esponendo basteranno, io credo, per togliere ogni dubbio sulla verità della tesi annunziata da Enrico Mueller, cioè che gli organi percipienti del nervo ottico si trovano esclusivamente nello strato a mosaico della retina.

Le osservazioni che formano il soggetto di questa Memoria, vennero già in parte esposte nelle due comunicazioni che feci all'Accademia nel dicembre 1876 e nel gennaio 1877 (1). Esse, benchè abbiano il loro fondamento in una scoperta anatomica, sono di natura puramente fisiologica: si riferiscono ad una particolarità finora non osservata di quella sostanza che forma i membri esterni dei bastoncelli retinici nei Vertebrati e negli Invertebrati, o gli organi che sono fisiologicamente, e forse anche filogeneticamente, equivalenti ai medesimi. Tanto negli uni come negli altri questa sostanza è caratterizzata da una particolare struttura a piastrine, la quale fu scoperta da Hannover nel 1840 e, più tardi, è stata soggetto di numerose investigazioni.

Nell'anno 1842 il Krohn notò, nei Cefalopodi, un colorito rosso di questa sostanza, e lo stesso colorito fu ritrovato da altri autori in molti altri Invertebrati. Nel tipo dei Vertebrati, Leydig per il primo descrisse un colore rosso dei bastoncelli negli anfibi ed uno giallo nei pesci, ma ritenne che queste fossero particolarità delle relative specie. A me fu riserbato di scoprire che questo colore rosso costituisce una qualità fisiologica inerente alla sostanza lamellosa dei bastoncelli e che, senza eccezione ed in modo del tutto identico, si ritrova presso tutti gli animali, i quali nel loro occhio hanno questa sostanza.

Per dimostrare questo colore rosso, l'animale più idoneo è la rana. Quando si spacca il bulbo dell'occhio, e si solleva con una fina pinzetta la retina dal fondo oscuro del pigmento retinico e della corioidea, essa appare nel primo momento d'un colore rosso intenso, cosicchè si potrebbe credere di avere tratto fuori dall'occhio un coagulo sanguigno. Durante i primi dieci, e in casi favorevoli anche venti secondi (Primo stadio) questo colore sbiadisce man mano, e poi sparisce rimanendone soltanto una leggera sfumatura giallastra. Allora la retina, durante i successivi trenta sino a sessanta secondi, e qualche volta anche per un tempo più lungo, mostra uno splendore di raso. (Secondo stadio). Poco a poco anche questo va perdendosi, e la retina addiviene completamente trasparente, nel quale stato perdura quindici ed anche più minuti. (Terzo stadio). In seguito diviene torbida ed opaca. (Quarto stadio). L'esame microscopico addimostra che il colore rosso del primo stadio, e lo splendore di raso che mostra il secondo, hanno la loro sede esclusiva nella sostanza a lamine sottili che costituisce i membri esterni. Verso la fine del secondo stadio, questa sostanza si gonfia e si altera, mentrechè il suo indice di refrazione si avvicina a quello degli altri strati della retina. È per questo che la retina nel terzo stadio diviene perfettamente trasparente. L'intorbidamento che mostra la retina nel quarto stadio non è

(1) Queste due comunicazioni, nella loro sostanza, coincidono con due Note che presentai all'Accademia delle scienze di Berlino: *Zur Anatomie und Physiologie der Retina*, in data del 12 novembre 1876 e *Zur Physiologie des Sehens und der Farbenempfindung*, in data dell'11 gennaio 1877.

dovuto ad alterazioni dello strato dei bastoncelli, ma a coaguli di albuminati che si producono nei rimanenti strati della retina.

Come era possibile che questi fenomeni tanto salienti, i quali si ritrovano uniformemente negli occhi di quasi tutti gli animali, avessero potuto sfuggire finora all' attenzione dei naturalisti? Dapprima supposi che qui si trattasse di un fenomeno estremamente fugace, di una qualità vitale della retina, la quale non era dimostrabile che nei primi brevi momenti dopo la morte dell' animale, e che era sfuggita agli anteriori osservatori, perchè essi avevano lasciato passare sempre quel primo e preziosissimo momento dopo la morte dell' animale, quei dieci o venti secondi decisivi, entro i quali io aveva veduto il colore quasi sempre completamente sparire. Presto però riconobbi che questa spiegazione non poteva essere del tutto concludente e che essa conteneva forse una parte della verità, ma non la verità intiera ed assoluta. Nelle mie ripetute esperienze fui impressionato da questo fatto: che sovente non poteva ottenere la dimostrazione del colore rosso della retina, benchè ne avessi fatta la preparazione colla solita celerità, e benchè quei dieci o venti secondi decisivi dalla morte dell'animale sino alla preparazione della retina, al certo non fossero stati ancora trascorsi. Malgrado tutto ciò, in molti casi del colore rosso non si vedeva più traccia. Dall' assieme di queste numerose dubbie osservazioni, presto fui indotto ad ammettere che alla scomparsa del colore rosso contribuisse qualche altro momento fisiologico, oltre la cessazione della vita e della nutrizione normale. Così arrivai ben presto al concetto che il colore rosso non poteva essere una qualità permanente della retina vivente, ma doveva essere sottoposto ad un cambiamento fisiologico; ed ammisi che l' impallidire della retina non avesse luogo esclusivamente pella morte, o per la sua estrazione dall'occhio, ma che molto probabilmente dovesse prodursi in alcune condizioni già *intra vitam*.

Una volta messomi su questo indirizzo, non era più difficile indovinare il momento fisiologico che qui entrava in azione, e non mi faccio un merito speciale dell' avere presto supposto che la luce fosse la cagione che determinava l'assenza o la presenza del colore rosso nella retina. Era facile di fornire a questa ipotesi un alto grado di probabilità: animali che per un tempo prolungato erano stati esposti al sole, o anche soltanto alla luce diffusa ma chiara del giorno, non mostravano mai un colore rosso della retina; all'opposto questo colore era sempre dimostrabile, quando gli animali avevano passato un tempo prolungato nell'oscurità. Ne trassi la conclusione, che il colore rosso *intra vitam* fosse continuamente consumato dalla luce che penetra nell'occhio, e che altrettanto continuamente si riproducesse per mezzo della nutrizione fisiologica: e quindi il colore non fosse dimostrabile se non quando l'occhio rimane nell'oscurità per un tempo abbastanza lungo da dare agio al colore rosso di accumularsi.

Una delle prime ricerche che allora intrapresi, ebbe per scopo di determinare il tempo entro il quale il colore rosso della retina veniva consumato dalla luce. Una dozzina di rane, che per un tempo indeterminato avevano vissuto nell' oscurità perfetta, furono contemporaneamente esposte al sole in vasi di vetro. Ogni cinque minuti esaminai gli occhi di una di esse. In una prima ricerca, che intrapresi nel novembre dell' anno scorso, fui disgraziato perchè il tempo ed il sole non erano

mai costanti: ottenni dunque come risultati delle cifre, le quali con una ulteriore ricerca furono trovate troppo esagerate. Questa seconda ricerca, intrapresa nella seconda metà di gennajo 1877, fu favorita da un cielo completamente sereno e dal sole più brillante ([1]). Dopo i primi cinque minuti, aveva già avuto luogo uno sbiadimento sensibile del colore rosso della retina. Dopo dieci minuti, del colore rosso non restavano più che leggiere traccie; molto di rado queste traccie si potevano addimostrare anche dopo quindici minuti. Ordinariamente dopo questo tempo la retina era già perfettamente incolora. Finalmente, dopo una mezz'ora, non si riscontrava mai più ombra del colore originario; e la retina morente non mostrava mai una lucentezza giallastra, ma uno splendore di raso bianco. Le medesime esperienze furono contemporaneamente eseguite presso una finestra del laboratorio situata al nord, ove soltanto la luce chiara e diffusa del giorno, nè mai un raggio diretto del sole, poteva colpire gli occhi delle rane. Il risultato fu questo: che nella luce diffusa lo scoloramento completo della retina richiede il doppio o il triplo del tempo trovato necessario per i raggi diretti dal sole: in tutti gli occhi, dopo due ore, il colore rosso trovavasi sempre completamente consumato.

Per decidere poi la seconda questione: entro quanto tempo si ripristinasse il colore rosso consumatosi, ho adoperato il metodo opposto. Una dozzina di rane, che per un tempo più lungo di un' ora avevano subito l'azione dei raggi diretti del sole, fu riportata nell'oscurità assoluta, ed ognuna di esse esaminata successivamente. Le prime traccie del colore ripristinato non erano mai visibili prima di un'ora; ed anche dopo un'ora e mezza, erano per lo più molto deboli. Dopo due ore però si era riformato ordinariamente un colore già abbastanza intenso, che una permanenza più prolungata nell'oscurità rendeva appena più sensibile ([2]).

Dopo queste esperienze relative al tempo, rimaneva però ancora un altro cimento da tentare, onde portare alla certezza la mia tesi che il colore rosso fosse consumato dalla luce: rimaneva a provare che in una retina parzialmente illuminata, il colore rosso venisse consumato soltanto nelle parti rischiarate, ma non altrove. Che ciò dovesse essere così, era già quasi certo *a priori*; poichè aveva già osservato che non di rado le parti della retina più riparate dalla luce (nella vicinanza dell'*Ora serrata*) mostravano ancora il loro colore rosso, mentre esso dal centro della retina era già completamente sparito. Pertanto non volli trascurare anche di farne apposito esperimento: chiusi in parte gli sportelli della finestra, cosicchè soltanto una striscia abbastanza stretta della luce solare poteva entrare. Sotto questa striscia misi l'occhio d'una rana curarizzata, che era stata conservata nell'oscurità: dopo dieci minuti trovai la retina divisa in due metà rosse separate da una linea incolora abbastanza nettamente disegnata. Soltanto dopo

([1]) Accadde in tali circostanze che le rane, quando erano lasciate per un tempo più lungo di un' ora nei vasi cilindrici, si trovarono morte colla rigidità termica completa di tutti i muscoli.

([2]) Nei primi tempi delle mie ricerche io era d'opinione che per una dimora molto prolungata (di parecchie settimane) nell' oscurità, l'intensità del colore rosso dovesse aumentare continuamente. Osservazioni più recenti mi hanno fornito idee più giuste, ed adesso debbo ammettere che il colore rosso arriva al maximum della sua intensità già dopo un tempo relativamente breve (dodici ore, cioè il riposo di una notte) e che una dimora più lunga nell'oscurità non gli può aggiungere nulla.

questa sperienza (la quale, benchè capace di molte modificazioni, però non ho voluto seguire nei suoi ulteriori dettagli) mi credei autorizzato ad enunciare la tesi contenuta nella mia prima comunicazione, cioè:

« Che durante la vita, il colore rosso della retina decresce e si consuma sotto l'azione della luce, mentre si ripristina e rinforza nell' oscurità; e che in questo cambiamento materiale consiste almeno in parte l'atto della visione ».

Con queste ricerche io era giunto a conoscere l' estrema distruttibilità del rosso retinico nella luce e per la luce. Questa nuova conoscenza avrebbe dovuto porgermi l'occasione di sottomettere ad una critica più severa l'ipotesi, che nel principio delle mie ricerche mi si era presentata come indiscutibile, cioè che il rosso retinico fosse una proprietà fisiologica eminentemente fugace. Ma questa idea tanto semplice non mi si affacciò subito. Anche dopo avere già conosciuta e studiata in tutta la sua estensione l' influenza distruttiva che ha la luce sul rosso retinico, continuai ancora a credere che questo colore fosse tanto intimamente legato alla vitalità del tessuto, da spegnersi subito dopo la morte dell'animale e la cessazione delle normali condizioni vitali. Rimasi sempre ancora disposto a credere più responsabile dell'impallidimento rapido della retina, estratta dall'occhio, la cessazione delle condizioni vitali, di quello che l'azione diretta della luce. Continuai a credere sempre che abbisognasse una grande rapidità nella preparazione della retina per dimostrare il rosso retinico, e quindi la mia prima comunicazione all' Accademia porta l' impronta di quest' idea preconcetta. Presto però una osservazione accidentale mi condusse nel retto sentiero, e mi rivelò il vero valore dei due fattori in questione: cioè l'azione diretta della luce, e la cessazione delle condizioni normali della vita. Ai giorni chiari e limpidi, che avevano dominato sino alla metà di novembre, succedette un tempo torbido ed oscuro, che mi obbligava a fare le osservazioni microscopiche in una luce molto più debole. Osservai allora una durata molto più lunga del primo stadio, essendochè il colore rosso della retina si conservava non più soltanto durante venti secondi (come avevo osservato prima) ma fino a cinque minuti ed anche di più. Questo fatto, che costantemente si ripeteva, mi diede la prova evidente che io aveva assegnato fino allora, nella produzione dello scoloramento della retina, una soverchia importanza alla cessazione delle condizioni normali della vita. Mi rivolsi quindi ad intraprendere una ricerca metodica, per stabilire quale parte avesse nell'impallidire della retina estratta dall'occhio la cessazione della vita, e quale l'azione diretta della luce.

Il metodo di ricerca fu molto semplice. Decapitai contemporaneamente una dozzina di rane tenute all'oscurità, e conservai al bujo le loro teste troncate, per esaminarne successivamente gli occhi. Da principio ebbi poca fiducia che questa ricerca potesse condurmi a risultati positivi, e con molta incertezza esaminai dopo cinque minuti un primo occhio, la retina del quale con mia grande meraviglia trovai si bella e rossa, come se fosse stata preparata immediatamente dopo la decapitazione dell'animale. Accrebbe la mia sorpresa, quando il medesimo fatto si ripetè anche dopo intervalli sempre più lunghi: persino dopo ventiquattro ore ritrovai conservato il rosso retinico in rane morte, ed anche in pesci cartilaginei ed ossei. Poi mi sembrò che esso svanisse molto rapidamente. Quasi egualmente durevole trovai il rosso

retinico, in mammiferi che erano stati conservati ed uccisi nell' oscurità: cosa che mi sorprese tanto più, perchè io in alcune sperienze oftalmoscopiche (delle quali parlerò in appresso) aveva creduto potere costatare direttamente lo scomparire del rosso retinico nel momento della morte, o poco dopo. Anche nei mammiferi in molti casi ho veduto perdurare il rosso retinico sino a dodici ore, ed anco più, dopo la morte.

Da queste sperienze mi veniva dunque dimostrato che il rosso retinico non era, come aveva supposto originariamente, una proprietà sfuggevole, ma piuttosto durevole della retina. Questo fatto mi rese possibile di migliorare e perfezionare il metodo di studio, che finora era rimasto abbastanza incompleto. Incominciai a eseguire la preparazione anatomica della retina nella semioscurità, cogli sportelli della finestra socchiusi, o anche coll'esclusione completa della luce solare, illuminando la camera con una fiamma di gas o con una candela ([1]). Lasciava entrare la luce solare soltanto quando la preparazione era già fatta e posta sotto il microscopio. Disgraziatamente questo metodo per la ricerca microscopica non era molto proficuo: perchè il mio occhio era sempre troppo abbagliato a causa di questo rapido passaggio dall' oscurità alla luce, o dall' illuminazione artificiale alla luce solare, per potere fare sollecitamente e con esattezza le occorrenti osservazioni. Si perdevano sempre alcuni secondi, prima che mi fosse dato di afferrare l' immagine microscopica della retina in modo soddisfacente. In questo frattempo, la retina aveva sempre perduta la maggiore parte del suo colore; cosicchè il nuovo metodo di preparare nell'oscurità e di osservare poi alla luce, offriva quasi nessun vantaggio sull'antico modo di procedere, cioè di fare ed esaminare la preparazione sotto le medesime condizioni di illuminazione. È per questo che ora mi servo ordinariamente dell'antico metodo, ed adopero soltanto in casi speciali, che richiedono una preparazione molto precisa ed un tempo relativamente lungo (p. e. nell' esame comparativo delle parti centrali e periferiche di una medesima retina), il nuovo metodo di fare la preparazione nella semioscurità, o colla luce artificiale.

Maggiori vantaggi che non per l' analisi microscopica del rosso retinico, offre l'esclusione della luce solare nella analisi chimica e fisica del medesimo. In queste analisi mi sono lasciato guidare da un solo punto di vista, che mi fu continuamente presente fino dal primo momento della mia scoperta. Mi feci la seguente domanda: Il rosso retinico è l'effetto d' un colore proprio inerente alla sostanza lamellare dei membri esterni dei bastoncelli? Oppure deve la sua esistenza all'effetto ottico delle lamelle sovrapposte, che per loro stesse sono sprovviste d' un colore proprio?

Alla prima alternativa corrisponderebbe il concetto, che i membri esterni contengano in se un pigmento particolare, che vorrei chiamare l'*Eritropsina*. Questa Eritropsina dovrebbe avere colla sostanza propria dei bastoncelli, rapporti simili a quelli che ha l'Emoglobina collo stroma dei corpuscoli rossi del sangue, e, come questo stroma, anche la sostanza fondamentale dei membri esterni dovrebbe essere considerata incolora. L' Eritropsina poi, analogamente all'Emoglobina, dovrebbe avere una costituzione chimica determinata, la quale come lo è quella dell'Emoglobina per i differenti

([1]) La ragione per la quale queste illuminazioni artificiali non distruggono il rosso retinico sarà esposta in appresso.

gas, dalla luce (e probabilmente anche dai diversi colori in modo speciale) potrebbe essere ridotta e trasformata in una, o anche in più combinazioni fisiologiche. Nella continua formazione e trasformazione di queste diverse combinazioni chimiche, prodotte dall'azione della luce, vale a dire da un processo fotochimico, consisterebbe l'essenza della percezione della luce e dei diversi colori.

Oltre questa teoria fotochimica sulla natura del rosso retinico, e della percezione della luce, è ancora ammissibile una seconda teoria, la quale, in opposizione alla teoria fotochimica, vorrei chiamare la teoria fotofisica. Secondo questa ultima teoria, un pigmento speciale che impregni lo stroma incoloro dei bastoncelli, cioè l'Eritropsina non esisterebbe; ma il colore rosso dei bastoncelli si produrrebbe per un fenomeno del tutto fisico, cioè per l'effetto ottico delle laminette incolori sovrapposte, dalle quali è costituita la loro sostanza. Secondo questa teoria, il rosso retinico apparterrebbe alla categoria dei fenomeni d' interferenza, e più specialmente alla classe dei cosidetti colori delle lamine sottili.

I colori delle lamine sottili, dove questi si riscontrano in natura, nella maggiore parte dei casi appaiono, come è noto, iridescenti e quasi mai costanti. Tuttavia vi sono dei casi, nei quali le lamine sottili possono produrre anche colori costanti ed omogenei: infatti questo caso speciale, secondo la teoria, deve avere luogo sempre quando non trattasi di singole lamine sottili, ma di un sistema intiero di lamine molto numerose, regolarmente sovrapposte in piani paralleli. Quando in una tale disposizione, tutte le lamine possiedono il medesimo indice di refrazione e la medesima spessezza, e quando sono separate da intervalli eguali, il sistema deve spegnere entro di se tutti i raggi, ad eccezione di quelli di una sola specie: vale a dire di quella nella quale la differenza delle fasi è eguale ad una ondulazione intiera, o a zero. Un tale sistema adunque deve apparire con un solo determinato colore omogeneo, la natura del quale dipenderà dal valore che avranno i costanti ottici delle lamine.

Colla teoria fotofisica del rosso retinico, si dovrebbe supporre che ciascun membro esterno sia un cotale sistema di lamine sottili, corrispondente alle ondulazioni proprie del colore rosso. La visione e la percezione dei colori, secondo questa teoria, avrebbero la loro ultima ragione nei cambiamenti materiali prodotti dalle ondulazioni luminose che colpiscono questo sistema. In tal caso sarebbe da supporre, che le ondulazioni potessero produrre alterazioni, sia nell' indice, sia nella spessezza, sia negli intervalli delle singole lamine, e si potrebbe benissimo concepire che ad ogni differente ondulazione corrispondesse anche una speciale alterazione dei valori costanti del sistema ottico. A queste alterazioni, speciali si dovrebbero attribuire le diverse qualità della percezione della luce, cioè le sensazioni dei diversi colori ([1]).

Non mi è sfuggito che il fatto anatomico, il quale forma la base di tutta questa teoria fotofisica del rosso retinico, e della percezione della luce e dei colori, cioè la

([1]) Già W. Zenker nel suo *Versuch einer Theorie der Farbenperception* (Archiv fuer mikroskop. Anatomie III. p. 248. 1867) ha cercato di trovare un rapporto tra la struttura lamellare dei membri esterni e la lunghezza delle ondulazioni luminose.

struttura lamellare dei membri esterni, viene contestato da parecchi micrografi nel suo significato fisiologico, e considerato come un fenomeno di alterazione *post mortem*, o come una specie di coagulazione. Vero è, che questa objezione, per quanto riguarda le asserzioni di Max Schultze (¹) e di W. Zenker (i quali ritengono, che i membri esterni dei bastoncelli della rana siano composti di circa trenta lamelle eguali, della spessezza di 0,0005 mm) non è intieramente senza fondamento; perchè anch'io non posso credere che le formazioni descritte da loro, siano i veri costituenti fisiologici dei membri esterni. Queste piastrine dei suddetti autori, le quali, dopo l'azione di diversi liquidi, sono visibili più o meno distintamente e regolarmente (in ispecie dopo l'azione del cloruro sodico di 10,0 %), non possiedono mai quella identica e regolare spessezza che loro viene attribuita da Max Schultze e W. Zenker, ma sono dischi di una spessezza variabilissima. Queste piastrine sono nient'altro che aggruppamenti più o meno spessi, formati da un numero variabile delle vere lamine, appiccicate insieme. Queste vere lamine sono probabilmente molto più numerose, e molto più sottili dei dischi descritti da Max Schultze e W. Zenker, i quali misuravano 0,0005 millimetri in ispessezza. L'esistenza delle lamine vere, può soltanto essere argomentata da una striatura trasversa finissima, che mostra la sostanza dei bastoncelli ancora fresca e rossa, quando viene esaminata con lenti d'immersione e con una luce molto favorevole. Esattamente in corrispondenza della direzione di questa striatura trasversa ha luogo sempre la rottura dei membri esterni, i quali sembrano formati da una sostanza estremamente friabile; poichè si rompono nella preparazione fresca molto facilmente in parecchi pezzi. In questi frammenti, ancora rossi, le superficie delle fratture, senza veruna eccezione, formano un angolo retto coll'asse longitudinale dei bastoncelli.

Essendo in tal modo stabilita una base anatomica soddisfacente per la teoria fotofisica del rosso retinico, si presentava la grande questione, quale delle due teorie, ambedue egualmente ammissibili dal punto di vista anatomico, fosse da preferirsi per altre ragioni. Sebbene io fossi persuaso, che colle mie conoscenze fisiche e chimiche poco profonde, non mi sarebbe riuscito di decidere la questione in maniera veramente assoluta, pure volli farne almeno un esame preliminare, fosse anche soltanto per formarmene un giudizio puramente personale.

In questo esame preliminare mi partii dal dilemma seguente: Se il rosso retinico è una combinazione chimica, se l'Eritropsina non è soltanto una bella parola ma esiste davvero, allora deve esistere una possibilità di separarla dalla sostanza dei bastoncelli, o in soluzione, o in altro modo. Dall'altra parte: se il rosso retinico non è una combinazione chimica, ma soltanto l'effetto ottico della sostanza lamellare dei bastoncelli, allora non potrà mai avere una esistenza separata da quest'ultima, ma dovrà esistere o deperire sempre entro i bastoncelli. In quest'ultimo caso una preparazione isolata del rosso retinico, naturalmente, sarebbe impossibile; invece sarebbe forse possibile di annientare o di alterare il rosso retinico, anche con mezzi capaci soltanto di alterarne lo stato fisico ma non lo stato chimico, come sarebbe p. e. la compressione meccanica. Tutte le relative sperienze dovevano farsi escludendo la luce solare.

(¹) *Ueber Staebchen und Zapfen der Retina.* — Archiv fuer mikroskopische Anatomie III, p. 215. 1867.

Si presentava molto naturalmente l'idea di isolare la supposta Eritropsina dalla sostanza dei membri esterni, valendosi a preferenza dei mezzi che servono per la separazione dell'Emoglobina dallo stroma dei corpuscoli del sangue, cioè il congelamento della retina, ed il trattamento coll'etere, coll'alcool e col cloroformio. Tutte queste sperienze diedero un risultato negativo, in quanto che non riuscì, con alcuno dei mezzi adoperati, di separare il colore rosso dai bastoncelli, e di metterlo in soluzione. Si può fare congelare la retina in una gocciola di umore acqueo e rifonderla successivamente due o tre volte senza che perda il suo colore; soltanto col tempo impallidisce e diviene finalmente incolora. Questo deperimento del colore però ha luogo entro i membri esterni stessi, e non si osserva mai che il colore esca prima dalla sostanza dei bastoncelli. Il medesimo fatto si ripete identicamente quando la retina viene trattata coll'etere, col cloroformio, coll'alcool. Con questi reattivi il rosso retinico viene bensì distrutto, ma non è mai estratto dai bastoncelli. Del resto, l'etere ed il cloroformio per scolorire la retina hanno bisogno di un tempo molto più lungo (perfino a parecchie ore) che non l'alcool, il quale già in pochi minuti produce uno scoloramento completo della retina. Rimasi nel corso di queste sperienze sorpreso, vedendo che dopo l'aggiunta dell'etere e del cloroformio, il colore dello strato dei bastoncelli passa prima dal rosso al giallo di limone, il quale poi diviene sempre più pallido, e finalmente scompare.

Non potendo essere mio scopo quello di prevenire altri ricercatori, più periti di me nel campo della chimica fisiologica, e di intraprendere un esame sistematico e dettagliato del rosso retinico per mezzo dei differenti reattivi chimici, mi limitai ad adoperare, oltre ai tre reattivi già menzionati, per lo studio del rosso retinico soltanto quelle soluzioni, le quali ebbi già campo di esaminare dettagliatamente negli effetti che hanno sulla fibra nervosa midollare: cioè la soluzione fisiologica di cloruro sodico a 0,75 %, l'acqua distillata, la soluzione di cloruro sodico a 10,0 %, la glicerina, la potassa caustica e l'acido acetico. L'uso di questi reattivi, già da me studiati nei loro rapporti colla fibra nervosa midollare, mi sembrò appositamente indicato, perchè molti fatti già noti accennavano ad una analogia chimica esistente fra la sostanza dei membri esterni e quella della guaina midollare dei nervi, fra i quali fatti il più importante è la reazione coll'acido osmico, comune ad ambedue le sostanze.

Esaminando l'azione di questi reattivi ottenni questo risultato: che la maggior parte di essi può conservare il rosso retinico per un tempo relativamente lungo. Così p. e. le due soluzioni di cloruro sodico perfino a due volte ventiquattro ore, e la glicerina quasi per lo stesso tempo; meno bene conserva l'acqua distillata, nella quale il rosso retinico deperisce poco dopo ventiquattro ore. All'opposto la potassa caustica concentrata, distrugge il colore rosso quasi istantaneamente. Rimarchevolissimo è il comportarsi dell'acido acetico: questo reattivo trasforma il colore rosso dei bastoncelli in un colore giallo d'oro molto intenso ([1]), il quale, esposto alla luce, impallidisce molto lentamente e scompare molto tardi. Colla sostanza dei bastoncelli, già

([1]) Questo colore, identico a quello delle cosidette gocciole di olio contenute nelle cellule del pigmento retinico della rana, suggerisce l'ipotesi molto probabile, che queste ultime gocciole siano la materia prima, accumulata per servire alla riproduzione dell'Eritropsina.

scolorata per la luce, quest'ultima reazione non ha luogo. Una separazione del rosso retinico dalla sostanza dei bastoncelli non era dimostrabile con nessuno dei detti reattivi.

In antitesi a queste prove chimiche, dirette ad isolare chimicamente la supposta Eritropsina dalla sostanza lamellare, tentai poi di fare scomparire il colore rosso entro la sostanza dei bastoncelli, con un mezzo puramente meccanico, qual'è la compressione. L' idea di questa sperienza mi venne suggerita dell'osservazione sovente ripetuta, che un subitaneo impallidire della retina accadeva precisamente in quell'istante, nel quale per l'esame microscopico doveva mettere il vetrino cuopr'oggetto su di essa. Questo fenomeno mi si era presentato con speciale insistenza nelle retine a bastoncelli molto sottili (nei mammiferi, pesci ossei ed anche cartilaginei), meno costantemente nella retina della rana, i bastoncelli della quale, essendo molto più spessi, potevano forse per questo opporre alla pressione una resistenza maggiore. Feci dunque la relativa sperienza, per la prima volta, colla retina del cane, la quale compressi nell'oscurità, fra due port'oggetti piani e parallelli. Portata alla luce, era scomparsa da essa ogni traccia di colore, e mostrava uno splendore di raso perfettamente bianco. Ho poi ripetuta la medesima sperienza sovente (anche con altre retine) e sempre col medesimo risultato, alla luce di una candela. In quest' ultimo caso potei sempre osservare nel modo più manifesto, che nel momento della compressione la retina prendeva un colore verde molto intenso, per diventare soltanto dopo completamente incolore: osservazione la quale verrebbe in appoggio alla teoria fotofisica del rosso retinico.

Questo è il mio studio preliminare sulla natura del rosso retinico. Al dilemma delle due teorie sopra accennate, le sperienze finora rispondono in modo favorevole per la fotofisica, in quanto che, da una parte, non hanno potuto fornirci la prova fondamentale della teoria fotochimica, cioè la separazione del rosso retinico dalla sostanza lamellare dei bastoncelli; mentre, dall'altra parte, si è trovato un mezzo, il quale, benchè chimicamente inefficace, pure vale a distruggere meccanicamente il rosso retinico entro la sostanza lamellare. All'opposto però, la tanto saliente alterazione di colore che produce l'acido acetico nel rosso retinico, si spiegherebbe difficilmente con un processo puramente fisico, perchè dà intieramente l' impressione di una reazione chimica. Una decisione fra la teoria fotofisica e quella fotochimica, attendo piuttosto da quelli scienziati, i quali in questa materia sono più versati di me; ed è a loro che lascio anche lo stabilire se sia giustificata, dalla teoria e dai fatti, l'alternativa assoluta che io mi era posta relativamente alla natura del rosso retinico, o se invece non fosse più giusto lo ammettere una azione doppia, chimica e fisica insieme, dei raggi luminosi sulla sostanza lamellare dei bastoncelli.

Egualmente in un altra quistione debbo dichiararmi non intieramente competente, e ricorrere alla più profonda e più speciale conoscenza di altri, lasciando agli oculisti esercenti il determinare con esattezza, in quale modo il rosso retinico faccia parte del colore rosso del fondo dell'occhio illuminato. Naturalmente questa quistione mi si era presentata subito dopo la scoperta del colore rosso della retina, e per deciderla aveva intrapreso una serie di ricerche oftalmoscopiche sopra mammiferi. Questo studio mi aveva condotto alla tesi enunciata nella mia prima comunicazione fatta su questo argomento, cioè:

« che il colore rosso, che ha il fondo dell'occhio nell'immagine oftalmoscopica, non risulta dai vasi sanguigni illuminati della corioidea ma essenzialmente dal colore rosso propria della retina ».

A questa conclusione era arrivato, avendo osservato oftalmoscopicamente nei mammiferi tenuti nell'oscurità, che gli spazî liberi fra i vasi sanguigni più grandi e visibili ad occhio nudo, sembravano altrettanto, e qualche volta anche più, rossi dei vasi sanguigni medesimi. Inoltre credeva allora, che il subitaneo impallidire del fondo rosso dell'occhio, che aveva osservato nel momento della morte in mammiferi cloroformizzati, fosse cagionato dall' istantaneo sparire del rosso retinico, che io supponeva perdurasse soltanto pochi secondi dopo la cessazione della vita. Ben presto però per ricerche ulteriori mi accorsi, che questa mia seconda ipotesi non poteva essere vera, perchè trovai che, anche nei mammiferi, il rosso retinico perdurava generalmente per un tempo considerevole dopo la morte. Perciò pensai che fosse più giusto attribuire questo impallidire del fondo dell'occhio alla cessazione della circolazione sanguigna. In questo modo, anche la mia prima tesi, cioè che il colore rosso del fondo dell'occhio, non fosse un effetto del colore dei vasi sanguigni, mi divenne dubbia, ed io era ben vicino ad abbandonarla completamente, quando osservai che l'esame oftalmoscopico non poteva dimostrare nessuna differenza nel colore del fondo dell'occhio, in rane tenute nell'oscurità ed in rane esposte alla luce. Nelle une come nelle altre il fondo dell'occhio appariva coll' identica tinta grigio-bluastra (colore di lavagna). Quindi mi sembrò evidente che il colore rosso del fondo dell'occhio illuminato, doveva essere del tutto indipendente dal rosso retinico, e che quest'ultimo per una qualunque ragione doveva sottrarsi all'osservazione oftalmoscopica. Ma questa conclusione era prematura, e ben presto potei convincermi, che, in questo caso, probabilmente si trattava di una particolarità propria all' occhio della rana, ma non di una qualità generale del rosso retinico. Quando preparai un bulbo d'occhio estirpato da una rana (incidendo una piccola apertura nella parete laterale del bulbo) in modo che la luce solare potesse cadere direttamente sulla retina, e quando osservai il fondo dell'occhio guardando attraverso la cornea, la pupilla e la lente, esso mi appariva anche con questo metodo di osservazione egualmente di colore grigio-bluastro, tanto se la rana era stata esposta alla luce quanto se era stata tenuta nell'oscurità. Il rosso retinico adunque, anche con questo metodo di illuminazione e di osservazione, non era visibile, sebbene l'esame objettivo ulteriore ne addimostrasse la presenza nel modo più evidente (1). Quando però ripetei la medesima sperienza coll'occhio estirpato di un mammifero tenuto nell'oscurità, p. e. di un porcello d' India (2) allora il fondo dell'occhio non mi appariva più grigio-bluastro, come nella rana (3), ma era evidentemente rosso: e questo colore rosso deve

(1) Al contrario il rosso retinico, nell'occhio della rana, addiviene nettamente visibile *in situ* sul pigmento retinico, quando si allontanano tutti i mezzi refrangenti dell'occhio e si guarda lateralmente la retina, la quale offre allora l'aspetto del velluto rosso oscuro.

(2) In questo animale è superfluo il fare una apertura speciale nella sclerotica, lasciando essa già passare una quantità sufficiente di luce.

(3) Finora non ho potuto rinvenire con certezza la ragione di questo particolare fenomeno proprio al fondo dell'occhio della rana: ipoteticamente la cerco nella distribuzione dei filamenti

attribuirsi positivamente alla presenza del rosso retinico e non ai vasi sanguigni, i quali, nell'occhio estirpato, sono, in genere, completamente accasciati e privi di sangue. Il medesimo colore rosso si rende visibile negli occhi estirpati di mammiferi tenuti nell'oscurità, anche col mezzo dell' oftalmoscopio; mentre il fondo di occhi estirpati, che prima erano stati sottoposti all'azione della luce, non appare mai rosso ma sempre pallido, tanto coll'osservazione diretta a traverso la pupilla, quanto coll'esame oftalmoscopico (¹).

È quindi evidente che il colore rosso del fondo dell'occhio, che si osserva oftalmoscopicamente nei mammiferi viventi e nell'uomo, è un fenomeno misto, e che a produrlo concorrono sempre due fattori, cioè i vasi sanguigni ed il rosso retinico, ai quali d'ordinario si associa ancora un terzo fattore, il colore rosso della luce artificiale illuminante. È facile eliminare quest'ultimo fattore, adoperando una luce del tutto bianca, o monocromatica, ma giammai rossa; cosicchè in ciaschedun caso speciale rimarrebbe soltanto a determinare, quanto del colore rosso del fondo dell' occhio debba attribuirsi al rosso retinico, e quanto ai vasi sanguigni. In questa proporzione, come risulta da un semplice ragionamento e viene anche confermato dall'osservazione diretta, deve esistere una grande variabilità. Nell'occhio stancato, il rosso retinico del quale è già del tutto o quasi tutto consumato dalla luce, il colore rosso sarà da attribuirsi esclusivamente ai vasi sanguigni; mentre nell'occhio riposato, l'effetto ottico del rosso retinico si assocerà a quello del rosso sanguigno. Infatti, nell'uomo, ho potuto osservare colla massima evidenza, che la mattina, nel destarsi in una camera oscura (²), il rosso del fondo dell'occhio è molto più intenso che non nel corso del giorno, quando per effetto della luce ha già avuto luogo un costante consumo del rosso retinico.

Con questa dimostrazione decisiva mi sono accontentato, e non ho tentato ulteriori ricerche oftalmoscopiche, parte perchè, essendo una volta trovato il principio, credetti di potere lasciare meglio agli oculisti pratici questo campo di ricerca; parte perchè mi mancava un istrumento adattato, per potere decidere con esattezza scientifica le singole questioni che si presentavano. Un tale strumento è l'oftalmospettroscopio da me costruito: cioè uno spettroscopio, dinanzi alla fenditura del quale è

pigmentari, la quale, nello strato a mosaico degli anfibj, è particolarmente sottile. Quest' ultimo strato perciò avrebbe il carattere di un così detto mezzo torbido, e dovrebbe apparire grigio-bluastro nella luce incidente.

(¹) Negli occhi dei mammiferi il rosso retinico rimane dimostrabile per mezzo dell' oftalmoscopio fino a dodici ore dopo la morte ; più tardi il fondo dell' occhio, nell'immagine oftalmoscopica, appare bianco e non più rosso. Questo fatto probabilmente si presterà ad una applicazione pratica nella medicina forense per la costatazione della morte.

(²) In questa occasione voglio richiamare l' attenzione sopra una sperienza per la dimostrazione subbiettiva del rosso retinico. Quando la mattina nel destarsi in una camera completamente oscura, e poi illuminata ad un tratto con intensa luce solare, si aprono gli occhi e si richiudono di nuovo e subito, tutto il campo visuale appare intensamente rosso. (In questo campo rosso appaiono, come fu già descritto prima da altri, la figura a tele di ragno, scoperta dal Purkinje, e la *Macula lutea* ferruginosa). Quando gli occhi poi si riaprono, e dopo tenuti aperti si richiudono di nuovo, ritorna il medesimo fenomeno ma con una tinta molto più pallida, e così anche una terza ed una quarta volta, finchè si arriva ad una sensazione puramente normale.

fissato uno specchio concavo perforato. Mi sono procurato un tale strumento provvisoriamente, connettendo ad un piccolo spettroscopio a mano, lo specchio di un oftalmoscopio ordinario. Con questo apparecchio ho potuto distinguere, nella luce riflessa dal fondo dell'occhio di un coniglio albino, le strie d'assorbimento caratteristiche dell'Emoglobina. Osservazioni più delicate, coll'apparecchio imperfetto del quale disponeva, non ho potuto eseguire: evidentemente perchè la centrazione dello strumento era assai difettosa. Con un oftalmospettroscopio esattamente centrato, nel quale il fuoco dello specchio coincida coll'asse ottico dello spettroscopio, tutte le questioni riguardanti il colore del fondo dell'occhio dovrebbero risolversi colla massima facilità: non vi sarebbe bisogno di altro che di stabilire, in ogni singolo caso, la natura della luce riflessa dall'occhio, e di determinare le positive o negative differenze che esistono fra essa e lo spettro della luce che penetra nell'occhio.

Non potei eseguire una tale ricerca, prima, come già dissi, per la mancanza di un esatto istrumento, poi perchè occupato a risolvere un altro problema relativo al rosso retinico, che era per me di importanza maggiore. Volli cioè determinare le alterazioni che questo rosso subisce, colla luce dei diversi colori. Ho fatto questa ricerca tre volte, adoperando ogni volta cinquanta rane all'incirca. Quando la intrapresi per la prima volta (nel dicembre 1876) era stato condotto, da esperienze imperfette, al falso concetto, che per le alterazioni del rosso retinico, per la sua consumazione per mezzo della luce, e per la sua ripristinazione nell'oscurità, in genere abbisognasse un tempo molto più lungo di quello, che più tardi, in esperienze più esatte, fù trovato essere il maximum del tempo necessario. Partendo da un tale erroneo concetto doveva supporre che fosse possibile produrre alterazioni croniche del rosso retinico in animali stati esposti per un tempo prolungato, cioè per delle settimane, all'influenza esclusiva di una sola specie di luce. Tenni adunque delle rane in cassette munite di di vetri diversi colori, ed esaminai i loro occhi soltanto dopo otto o quindici giorni; convinto che le alterazioni, le quali in esse poteva addimostrare, dovessero essere ascritte a carico del lungo tempo passato nella luce monocromatica e, perciò, considerate come alterazioni croniche. Naturalmente, dovetti ben presto abbandonare questa idea, quando sperienze più esatte mi ebbero fatto conoscere i veri spazî di tempo, occorrenti per le alterazioni del rosso retinico. Mi persuasi che con una tale disposizione non poteva contare di ottenere alterazioni croniche; perchè, in tali circostanze, l'oscurità della notte farebbe il lavoro di Penelope, disfacendo cioè sempre e di nuovo le alterazioni che forse nel corso del giorno si erano prodotte nella retina. Quindi non potei più considerare come croniche le alterazioni osservate, e datarne l'origine da una settimana e più; ma dovetti invece supporre che ogni singolo trovato, fosse il risultato dell'azione della luce monocromatica, limitata a quelle poche ore del giorno stesso, nel quale l'occhio veniva esaminato. Siccome però, durante tutto il tempo nel quale furono fatte queste ricerche, la costanza del sole sull'orizzonte era rara, e le giornate in genere di una luce moderata, le alterazioni della retina ottenute in queste sperienze dovettero considerarsi come prodotte da una luce monocromatica di media intensità, e di poche ore di durata. Nella seconda serie di queste esperienze, nella quale mi servii delle medesime cassette e dei medesimi vetri colorati, fui favorito da un sole costante e brillante. In questo modo ebbi a mia disposizione luci monocromatiche molto

intense, l'azione delle quali graduai con esattezza, per stabilire nello stesso tempo l'effetto della luce monocromatica con una breve e con una lunga durata. Così le due prime serie di ricerche mi avevano già fornito completamente i dati necessari a stabilire l' effetto di ogni singolo colore, sia con media intensità e con lunga durata, sia con grande intensità e con breve o lunga durata. La terza serie di ricerche, adunque, non fu intrapresa per trovare nuovi fatti, ma per controllare e per convalidare con un metodo migliore i risultati già ottenuti nelle due prime ricerche. I vetri colorati, dei quali per quest' ultime mi era servito, erano in parte difettosi, e perciò era desiderabile di ripetere ancora una volta le sperienze con colori del tutto monocromatici. Questo praticai nel febbraio 1877, esponendo l'occhio atropinizzato di rane curarizzate, per un tempo più o meno lungo, all'azione di una di parte determinata dello spettro solare, prodotto in una camera oscura da un prisma vetro flint (Fabbrica Merz) ([1]).

Relativamente alle differenti alterazioni objettive dello strato a mosaico, che corrispondono ai differenti stati fisiologici della retina, ho trovato i fatti seguenti:

I. Oscurità completa.

Il colore della retina rimasta nell' oscurità assoluta è rosso (fig. 1 a) e non purpureo, come l'aveva chiamato nella mia prima comunicazione: perchè non corrisponde ad un coloie prodotto per la sovraposizione dei due estremi dello spettro, ma piuttosto alla media del rosso dello spettro. Chiamo questo colore il rosso retinico (*Sehroth*, in tedesco) o il colore fondamentale della retina. Guardando col microscopio il mosaico dello strato a bastoncelli (fig. 5), la grande maggioranza dei bastoncelli mostra lo stesso colore rosso che è caratteristico della retina intiera. Fra questi bastoncelli rossi, appaiono singoli bastoncelli di un colore verdastro molto pallido. Seguendo coll'occhio nel campo del microscopio l'impallidimento della retina, si osserva che i bastoncelli rossi, a misura che il loro colore si fa più debole, prendono una tinta rosso-giallastra e finalmente quasi del tutto gialla. Prima che svanisca il colore dei rossi, si perde in genere quello dei bastoncelli verdi. In questo momento, la retina, vista macroscopicamente, mostra la tinta medesima dei bastoncelli rossi che impallidiscono (fig. 1 b).

([1]) Nell'occasione di queste ricerche, intraprese collo spettro solare nella camera oscura, feci una osservazione, che non rimarrà forse senza applicazione per l'oftalmologia pratica (p. e. per la diagnosi della cecità dei colori). Raccolgo sopra una parte bianca, 4-5 metri lontana dal prisma, uno spettro solare possibilmente intenso e grande. Metto il mio occhio dentro in questo spettro, dirigendolo verso il prisma, ed accomodandolo contemporaneamente alla distanza infinita. In questo caso vedo un centro luminoso circondato da una aureola di punti lucenti disposti a mosaico. Credo di potere interpretare questa immagine come una riproduzione del mosaico della *Macula lutea*, perchè il diametro dell'aureola è diverso secondo i diversi colori dello spettro, nei quali introduco il mio occhio. L'aureola lucente è piccola nella luce rossa, diviene più grande nella luce gialla, ed arriva al maximum del suo diametro nella luce gialla-verde e verde, per scemare poi nella luce azzurra e più ancora nella luce violacea. Questi fatti si accordano tanto bene coi risultati, trovati per mezzo di un altro metodo molto più tedioso, riguardanti la differente sensibilità della periferia della retina per i diversi colori, che mi sono servito di questo fenomeno per uno sperimento di scuola, onde dimostrare in un istante, ai singoli studenti, tutti i fatti relativi alla localizzazione della sensazione dei colori nella retina.

II. Luce solare bianca.

Dopo una azione prolungata dei raggi solari, od anche di una chiara luce del giorno diffusa, la retina appare completamente incolora: morente, non mostra un colore giallastro ma uno splendore di raso bianco. Col microscopio non è dimostrabile veruna differenza fra i singoli bastoncelli, ma tutti indistintamente appaiono, in egual modo, incolori e trasparenti.

III. Luce cromatica.

1. *Luce rossa.* — Nella luce rossa si rinforza il colore rosso della retina, che passa ad un tuono di colore (fig. 2 a) più intenso e più oscuro, che non il colore fondamentale della retina. Potrebbesi chiamare questo colore, il quale coincide esattamente con una varietà del così detto rosso pompeiano, rosso-brunastro. Questa alterazione si produce tanto più intensamente, quanto più intensa era la luce rossa, e più lunga la sua azione. Nell'impallidire, la retina prende prima un tuono di colore rosso-giallastro, e poi quasi giallo-brunastro (fig. 1 b), il quale differisce dalla tinta che mostra nell'impallidire il colore fondamentale, per la sua più forte saturazione, e per l'assenza di ogni traccia di rosso. Nel campo del microscopio, i bastoncelli rossi mostrano lo stesso tuono di colore rosso-brunastro, caratteristico della retina intiera. I bastoncelli verdi, sparsi fra i rossi mostrano un colore molto più vivace, che non i bastoncelli verdi della retina tenuta nell'oscurità (fig. 6).

2. *Luce gialla.* — La luce gialla non altera molto il colore fondamentale della retina, anche quando agisce con grande intensità e per lungo tempo. Mentre la luce rossa rinforza il colore fondamentale, la gialla lo fa più chiaro; cosicchè il rosso retinico normale, deve essere considerato come intermedio alle due modificazioni cagionate dalla luce rossa e dalla luce gialla. Si può adunque qualificare la tinta prodotta per l'azione della luce gialla, come un rosso retinico più chiaro. Anche esso, nell'impallidire della retina, passa al rosso-giallastro ed al giallastro. I bastoncelli verdi, dopo esposti alla luce gialla, appaiono tali quali sono dopo l'azione della luce rossa [1].

3. *Luce verde.* — Dopo l'azione della luce verde sulla retina, si osserva una differenza evidente, secondochè la luce adoperata è più o meno intensa, e secondo che ha agito sulla rétina per un tempo più o meno lungo. Il primo effetto di una luce verde molto intensa (o, ciò che vuole dire lo stesso, l'azione più prolungata di una luce verde di media intensità) consiste in questo: che il colore fondamentale della retina viene mutato in rosso-porpora (fig. 3 a), il quale, nell'impallidire, passa ad un bel colore rosa (fig. 3 b), ma mai ad un colore giallastro. Quando si prolunga l'azione della luce verde intensa, la retina non rimane più rosso-porpora, ma prende un colore torbido violaceo. Questo violaceo, successivamente si fa sempre

[1] Il fatto che la luce rossa e gialla, non alterano quasi il colore fondamentale della retina, conduce direttamente ad una applicazione molto utile, quella cioè di eseguire la preparazione della retina, e le sperienze relative al rosso retinico, coll'illuminazione artificiale, per mezzo della luce rosso-giallastra di candela o di gas, escludendo completamente la luce del giorno.

più pallido, e finalmente la retina appare quasi del tutto incolora. Sotto il microscopio, i bastoncelli rossi mostrano tuoni di colore corrispondenti al descritto cambiamento di colore della retina intiera. I bastoncelli verdi sono colorati in un verde particolare e torbido, come quello della così detta terra verde; nella preparazione microscopica essi sembrano sovente colorati in verde intenso, quando i bastoncelli rossi, che li circondano, sono già notevolmente impalliditi. Mi è sembrato che il loro numero, paragonato con quello che si trova nelle retine tenute all'oscurità e nella luce rossa e gialla, fosse considerevolmente aumentato (fig. 7, 8, 9).

4. *Luce azzurra e violacea.* — Come colla luce verde, anche colla luce azzurra e violacea, deve essere tenuta a calcolo non soltanto la qualità, ma anche l'intensità e la durata dei raggi. Dopo una illuminazione azzurra e violacea poco intensa, o dopo una illuminazione intensa sì ma di poca durata, il colore fondamentale della retina appare mutato in un torbido violaceo (fig. 4 a). Quando però una luce azzurra e violacea intensa, agisce per un tempo prolungato, allora questo violaceo sbiadisce e la retina finisce col divenire completamente incolora. L'esame microscopico, rapporto alla quantità numerica dei bastoncelli verdi, mi diede la medesima impressione, quale ebbi nella retina esposta alla luce verde: mi sembrarono, comparati con quelli della retina mantenuta nell'oscurità o nella luce rossa e gialla, aumentati quasi del doppio. Dopo l'azione della luce azzurra e violacea, essi mostrano il medesimo colore verde torbido, che hanno dopo l'azione della luce verde. La maggioranza degli altri bastoncelli mostra un colore, non torbido ma trasparente, rosso violaceo; il quale nell'impallidire passa ad un bel violaceo chiaro (fig. 4 b). Durante questo impallidimento, i bastoncelli verdi ritengono il loro colore per un tempo più lungo che non i rossi, ed appaiono ancora verdi, quando gli altri sono già completamente scolorati. Questo fatto è specialmente visibile in quelle retine, l'impallidimento delle quali fu prodotto *intra vitam* per la sola azione della luce azzurra e violacea; meno evidente è il fenomeno, quando la luce azzurra e violacea hanno avuto soltanto una moderata azione sulla retina vivente, e quando l'impallidimento completo ebbe luogo per mezzo della luce bianca, dopo la morte, e sul port'oggetti (fig. 8, 9).

5. *Raggi ultraviolacei.* — I raggi ultraviolacei, secondo le mie esperienze, sono sprovvisti di ogni azione fisiologica sulla retina vivente; ed anche dopo una azione molto prolungata, non arrivano a cambiare in verun modo il colore fondamentale della retina (¹).

Questi fatti relativi alle alterazioni objettive, che lo strato dei bastoncelli subisce per l'azione dei diversi colori possono essere riassunti come segue:

Il colore fondamentale della retina viene cambiato diversamente a seconda della diversa lunghezza delle onde luminose. Tutti i raggi che hanno onde più lunghe di quelle del rosso retinico, alterano il colore fondamentale verso la parte meno rifrangibile dello spettro, e contemporaneamente lo fanno più intenso. Tutti i raggi che hanno onde più brevi del rosso retinico, lo alterano verso la parte più rifrangibile

(¹) Sarebbe molto desiderabile, se queste sperienze fossero ripetute con un prisma di quarzo: ma finora non mi fu possibile di averne uno in Roma.

dello spettro, e contemporaneamente lo fanno più pallido. Probabilmente, queste due specie di alterazione vengono determinate, tanto dalla lunghezza delle onde, quanto dall' intensità della luce. Questo almeno è dimostrato con certezza, nell'alterazione che tende verso la parte più rifrangibile dello spettro: poichè si ottiene il medesimo grado di alterazione, con una luce di onde meno brevi (luce verde) ma di azione più intensa e più lunga, come quando agisce una luce di onde più brevi (luce azzurra e violacea) ma di azione meno intensa e meno lunga ([1]). Questa ultima distruzione fisiologica del rosso retinico, continuamente crescente colla brevità crescente delle onde, non può essere messa in rapporto diretto coll'azione chimica della luce solare, che cresce nella medesima parte dello spettro; perchè la consumazione fisiologica del rosso retinico si arresta alla parte visibile dello spettro, mentre l'azione chimica di esso, come si sa, si protrae ancora al di là dell'estremo visibile ([2]).

Oltre alle descritte alterazioni materiali, la luce produce nello strato a mosaico una seconda serie di alterazioni non meno ragguardevoli delle prime. Ho trovato che il pigmento retinico della retina della rana, non ha una localizzazione costante, ma che invece migra e si comporta diversamente a seconda dei diversi stati di illuminazione della retina. Nel corso delle mie ricerche fui colpito dall'osservazione, che la preparazione della retina, secondo i differenti stati fisiologici di essa, riusciva diversa. In occhi conservati nell' oscurità, la retina col suo strato a mosaico, si separava sempre molto facilmente dal pigmento retinico, in forma di una membrana continua; ed all'esame microscopico si mostrava quasi sempre interamente libera di granuli di pigmento. Questo fatto era molto più evidente ancora, quando la retina era rimasta nella luce rossa; meno quando essa era stata nella luce gialla.

([1]) Finita la prima serie di queste mie ricerche, che fu esclusivamente condotta con luci colorate di media intensità, fui d'avviso, che ad ogni speciale colore principale, (rosso, giallo, verde, azzurro e violaceo) corrispondesse una speciale e determinata alterazione objettiva del colore della retina, e che uno scoloramento completo della retina non si producesse mai per l'azione di un singolo colore, ma soltanto per l'azione comune di tutti i colori, cioè della luce bianca. Ambedue queste ipotesi non potevano reggere dinanzi ai risultati delle posteriori esperienze, intraprese con luci molto più intense. Da queste sperienze dovetti dedurre, che a tutti i raggi di onde più brevi dovesse attribuirsi la medesima azione sul colore fondamentale della retina, benchè diversa nel grado: e che non solamente la luce bianca ma anche i raggi violacei ed azzurri, ed in minor grado i verdi, fossero capaci di produrre uno scoloramento completo della retina. In tali circostanze, fra tutti i colori solamente al rosso (e forse ancora al giallo) può essere attribuita, in un senso assoluto, una alterazione caratteristica del colore fondamentale della retina; mentre i colori che hanno onde più brevi, (verde, azzurro e violaceo) non hanno la facoltà di produrre alterazioni caratteristiche e determinate del rosso retinico. Le alterazioni prodotte da questi ultimi colori sono soltanto relativamente (cioè quando i colori agiscono con eguale intensità e durata), ma mai assolutamente caratteristiche.

([2]) Ad una legge simile a quella che regola le alterazioni dei bastoncelli rossi sembra che ubbidiscano le alterazioni dei verdi. Infatti il loro colore fondamentale verde pallido (che mostrano dopo una permanenza prolungata nell'oscurità) viene mutato in un doppio modo, cioè: dai raggi con onde più lunghe (rossi) in un verde chiaro intenso, e dai raggi con onde più brevi (verdi azzurri e violacei) in un verde oscuro e torbido. Secondo questo ultimo risultato deve essere rettificato quanto dissi nella mia seconda comunicazione, quando attribuii alla luce rossa ed alla luce verde la medesima azione sul colore fondamentale dei bastoncelli verdi, ed ascrissi soltanto alla luce azzurra e violacea l'effetto di farli comparire più torbidi.

All'opposto, colla retina scolorata per mezzo della luce bianca, verde, azzurra, o violacea, la preparazione non riusciva così netta: la retina ordinariamente si stracciava in parecchi brandelli, ai quali si trovavano inseparabilmente attaccate delle quantità più o meno considerevoli di pigmento retinico. Da queste osservazioni conchiusi, che per mezzo della luce si producesse una alterazione nella consistenza della retina e del pigmento retinico; di modo che per l'azione della luce bianca, verde, azzurra e violacea, avvenisse un rammollimento dello strato dei bastoncelli e del pigmento retinico, cosicchè ambedue questi strati divenissero più lacerabili, e nei tentativi di separazione si attaccassero più facilmente l'uno all'altro. Dall'altra parte, credetti di dovere attribuire all'oscurità ed alla luce rossa (in minore grado anche alla luce gialla) l'azione opposta: cioè quella di indurire lo strato dei bastoncelli ed il pigmento retinico, e supposi che nella separazione dell'uno dall'altro, i prolungamenti delle cellule di pigmento fossero strappati via dallo strato dei bastoncelli. Ma poi mi venne l'idea che forse la luce producesse nella retina uno spostamento dei filamenti pigmentati. Quest'ultima ipotesi più ardita si trovò la più giusta: perchè in un gran numero di occhi di rane, induriti nell'Alcool, potei riconoscere che, secondo i diversi stati fisiologici dello strato dei bastoncelli, anche la disposizione del pigmento retinico è diversissima. Negli occhi tenuti nell'oscurità, o nella luce rossa e gialla, gl'interstizi dei bastoncelli erano sempre completamente liberi di pigmento; mentre negli occhi esposti alla luce bianca, verde, azzurra o violacea, si stendevano cordoni di pigmento spessi e bruni, fino alla base dei bastoncelli ed alla membrana limitante esterna.

Questa osservazione importante dà un alto grado di probabilità all'ipotesi della partecipazione diretta delle cellule di pigmento nell'atto della visione. Ad essa si aggiunsero presto altri fatti non meno interessanti. Ho potuto stabilire, che esistono rapporti certi fra le gocciole di olio contenute nelle medesime cellule di pigmento, ed i processi fisiologici che si succedono nello strato dei bastoncelli. Queste gocciole, che nella rana come è noto sono rimarchevoli per il loro bellissimo colore giallo d'oro. furono già da vario tempo soggetto di un mio studio speciale. La reazione coll'acido acetico sopra descritta, per la quale il rosso retinico viene mutato in un giallo d'oro intenso, e identico a quello delle gocciole d'olio, doveva mettermi sulla buona via per conoscere la funzione fisiologica di queste enigmatiche formazioni. Fui indotto all'idea, che la loro sostanza colorante fosse la materia prima, dalla quale il rosso retinico, consumato dalla luce, continuamente si ripristinerebbe. Se questa ipotesi era vera, allora l'esame anatomico doveva darne prove determinate: questa prima materia doveva trovarsi in più grande quantità nelle retine riposate e rosse, che non nelle retine scolorite dalla luce; scarsissima, finalmente, doveva essere in quelli occhi, i quali dopo una illuminazione intensa di parecchie ore, erano stati riportati nell'oscurità, ed esaminati quando la ripristinazione del rosso retinico era appena terminata (cioè dopo due ore all'incirca). Infatti, l'esame microscopico mostrò differenze corrispondenti a queste supposizioni. È vero che non si verificava una differenza marcata nella quantità delle gocciole di olio, nè una loro diminuzione numerica nella retina che era stata attiva. Le variazioni individuali mi sembrano in questo riguardo troppo considerevoli, per poterne fare risaltare in modo evidente la diminuzione o l'aumento fisiologico; trovandosi spesso in retine state fortemente illuminate, più gocciole di olio che non in

retine lungamente riposate. Invece si osservò una differenza molto più caratteristica. Nelle rane rimaste nell'oscurità, tutte le gocciole sono egualmente tinte di un medesimo colore giallo intenso; mentre in quelle rane, nelle quali secondo l'ipotesi, ha avuto luogo un consumo della materia prima, le cellule di pigmento, oltre le gocciole intensamente colorate, contengono altre gocciole di un giallo pallido, ed anche numerose gocciole completamente incolori, dalle quali la sostanza gialla era completamente scomparsa. Questa osservazione rende assai probabile la relazione genetica, che, secondo la ipotesi adesso accennata, esisterebbe fra la materia gialla delle cellule di pigmento, ed il rosso retinico (1) e dà un alto grado di probabilità anche all'esistenza reale dell'Eritropsina e, con questo, alla teoria fotochimica della visione.

Tutte queste osservazioni che riguardano i membri esterni dei bastoncelli, o si riferiscono al modo di comportarsi dell'epitelio retinico, dei suoi granuli di pigmento, e delle sue gocciole di olio, dimostrano, per la prima volta, che negli organi di senso, parallelamente agli stati fisiologici che vi si succedono, avvengono anche delle alterazioni materiali. Per queste osservazioni si riempie in un modo molto soddisfacente una lacuna sensibile nella fisiologia teorica: stabilendosi che, come negli organi dotati di nervi ad azione centrifuga (nei muscoli, organi elettrici e luminosi), così anche negli organi di senso dotati di nervi ad azione centripeta, corrispondono agli stati fisiologici del riposo e dell'attività, determinate alterazioni materiali di natura fisica, chimica, ed anatomica. Poteva già dedursi dal principio della conservazione della forza che tali alterazioni dovessero esistere: perchè non si avrebbe potuto concepire che, negli organi terminali dei nervi di senso, la commutazione degli agenti fisici (p. e. delle onde della luce e del suono) in movimento nervoso, potesse prodursi, senza una contemporanea alterazione objettiva degli organi terminali stessi, cioè immaterialmente. Ma finora tali alterazioni non erano mai state dimostrate.

Queste alterazioni nello strato a mosaico e nel pigmento della retina, che ho sopra descritte, formano la base materiale sulla quale, in avvenire, si costruirà la teoria fisiologica completa della visione e della percezione dei colori. Nello stato attuale delle cose si incontrano ancora troppe difficoltà, per potere applicare i fenomeni, noti sin qui, ai processi fisiologici, e per giungere così ad una teoria objettiva della visione.

Fra le questioni più difficili che si affacciano, e che solo in seguito a ricerche molto estese e dettagliate, sarà possibile risolvere, ve ne hanno due molto importanti, l'una relativa al significato diverso dei bastoncelli e dei coni, (2) l'altra relativa alla funzione dei bastoncelli verdi, che costantemente si osservano nella retina degli anfibj. Debbonsi distinguere, facendo per adesso completamente astrazione dai coni, anche nella

(1) *Nota posteriore.* Ulteriori ricerche rendono molto probabile, che il pigmento giallo d'oro delle gocciole di olio è anche esso abbastanza sensibile all'azione della luce, comportandosi in egual modo come la modificazione gialla dell'Eritropsina prodotta dall'acido acetico.

(2) È una ipotesi abbastanza probabile che la semplice sensazione della luce, cioè la distinzione fra la luce e le tenebre, venga trasmessa esclusivamente, o almeno essenzialmente, per una irritazione delle cellule di pigmento; mentre le diverse qualità della sensazione della luce, cioè i colori, sarebbero percepite soltanto per le alterazioni del rosso retinico. Sul modo però nel quale, in quest'ultimo processo, la funzione dei bastoncelli differisca da quella dei coni, non mi permetto di formulare una ipotesi.

categoria dei bastoncelli, due specie morfologicamente [1] e funzionalmente distinte: cioè la maggioranza dei bastoncelli rossi e la minoranza dei bastoncelli verdi? O non sarebbe piuttosto da ammettere l'identità fondamentale di tutti i bastoncelli della retina, considerando i rossi ed i verdi solamente come apparizioni differenti di una sola forma omogenea, e come modificazioni corrispondenti a differenti stati fisiologici, ovvero a processi di rigenerazione?

A quest' ultima teoria verrebbe in appoggio il fatto, che, nella retina esposta alla luce bianca, non è dimostrabile veruna differenza tra i bastoncelli, esistendo in essa una sola categoria di questi elementi del tutto identici. Le sarebbero anche favorevoli le osservazioni, sopra comunicate, sull'aumento dei bastoncelli verdi nella luce verde, azzurra e violacea. Disgraziatamente però debbo confessare, che queste ultime osservazioni non si possono ancora considerare come concludenti. È molto verosimile, per parecchie ragioni, che la proporzione nella quale si trovano i bastoncelli verdi ai rossi, in ogni singola retina, non sia affatto costante; ma invece sia variabile nelle differenti regioni, nel centro e nella zona periferica, della membrana. Una volta ammesso questo, diviene un problema molto scabroso il comparare fra loro due retine, in rapporto alla loro relativa ricchezza numerica in bastoncelli verdi. È perciò che, soltanto con una grande riserva, mi voglio pronunciare sul fatto delle sopra menzionate osservazioni, sull'aumento dei bastoncelli verdi nella luce verde, azzurra e violacea.

Sarà dunque molto difficile di servirsi dei risultati sopra descritti, per fondare una teoria della percezione dei colori, finchè non venga chiarito il significato dei bastoncelli verdi; anzi finchè non si sappia, se essi si trovano soltanto negli anfibi od anche nei vertebrati superiori, nei mammiferi e nell'uomo [2]. Il prossimo studio da fare in questo campo, sarà un complesso di ricerche identiche a quelle già eseguite colla rana, in un altro animale, la retina del quale sia possibilmente somigliante a quella dell'uomo, p. e. nella scimmia. Forse in questo caso si arriverà a trovati, i quali stiano in un rapporto semplice coi fatti stabiliti dalla osservazione subjettiva sulla percezione dei colori nella retina umana. Da questo accordo si potrebbe trarre una teoria sicura sulla percezione dei colori.

Nell'attualità, disgraziatamente, è poco proficuo l'ammettere *a priori* l'identità essenziale dei fatti osservati nella rana, con quelli relativi alla visione dell'uomo [3]

(1) Nella retina della rana, recentemente Schwalbe ha descritto due specie di bastoncelli anatomicamente differenti (Graefe e Saemisch, *Handbuch der gesammten Augenheilkunde* I, p. 406. 1874).

(2) Sulla presenza dei bastoncelli verdi nelle altre classi dei Vertebrati, debbo pronunciarmi dubbiamente, perchè finora non potei esaminare che specie con bastoncelli molto sottili. Di mammiferi, finora furono soltanto a mia disposizione topi, sorci, conigli, porcelli d'India, cani, gatti. Nei bastoncelli di tutti questi animali il colore si perde tanto rapidamente, che io, benchè mai potessi vedere una traccia di bastoncelli verdi, però debbo lasciare aperta la questione della loro eventuale presenza. Perchè, collo sparire tanto rapido del colore, rimaneva sempre la possibilità che i bastoncelli verdi fossero spariti, sebbene prima fossero stati presenti. Con più grande sicurezza credo di potere affermare la mancanza dei bastoncelli verdi nella retina dei pesci cartilaginei. I loro bastoncelli sono abbastanza spessi, per ritenere il loro colore ancora qualche tempo sotto il microscopio, e sotto la pressione del cuopr' oggetti. Allora appaiono tutti uniformemente rossi.

(3) *Nota posteriore.* Che anche nella retina dell'uomo esista il rosso retinico, fu objettivamente dimostrato, dai professori Schenk e Zuckerkandl. nell'occasione di una esecuzione capitale, eseguita a Vienna il 5 marzo 1877 (Wiener medizin. Wochenschrift 1877 Nr. 11. 13 marzo 1877).

e da questo punto di vista esaminare, in quale rapporto possano essere messi coi medesimi, i trovati più salienti dell'antica fisiologia dei colori, p. e. i fenomeni relativi ai colori di contrasto, i colori endottici, e la teoria di Young-Helmholtz. Per molti riguardi, questi fatti stanno in sensibile contradizione coi risultati dell' osservazione objettiva, e sarà difficile trovare un ragionamento, che possa riunire e mettere d'accordo gli uni cogli altri in modo soddisfacente. In un solo caso però, un tale accordo appare evidente, cioè rapporto alla cecità dei colori. Il fatto, che i raggi verdi cagionano soltanto una minore, quelli azzurri e violacci una più forte alterazione del colore fondamentale della retina, darebbe senz'altro la spiegazione del perchè, la maggiore parte dei Daltonisti è incapace di distinguere il verde dal rosso; mentrechè l'azzurro ed il rosso vengono scambiati soltanto da pochi individui. Si dovrebbe adunque considerare questo fatto, come se quest'ultima abnormità rappresentasse il più alto grado della cecità dei colori, il quale allora comprenderebbe, come un grado minore, la cecità del rosso e del verde.

Sarebbe però prematuro di volere fare in questo campo ulteriori passi, e di spiegare ancora altri fatti dell' ottica fisiologica, coi nuovi trovati sui processi objettivi che hanno luogo nello strato a mosaico. Mi astengo adunque da ogni altro dettaglio, volendo alla fine fare rilevare soltanto ancora due idee, le quali, nel corso di queste ricerche, mi si sono presentate ripetutamente e con sempre crescente insistenza, e l'esposizione delle quali non mi sembra inutile per la fisiologia generale dei sensi.

La prima di queste idee si riferisce al punto nel quale ha luogo la percezione. Nella moderna fisiologia dei sensi domina il concetto, che alle espansioni terminali dei nervi negli organi di senso (al mosaico della retina ed alla tastiera della chiocciola) corrispondano nell'encefalo organi terminali centrali, i quali, in una certa forma, riprodurrebbero anatomicamente la disposizione dei punti sensitivi periferici; e si ammette, che solamente dall' irritazione fisiologica di questi rappresentanti centrali dei punti sensitivi periferici, l'anima ricavi le sue impressioni e le sue percezioni. In ogni percezione sensitiva adunque, si ammette l'esistenza di un doppio processo: p. e., nella visione, una irritazione determinata degli organi terminali del nervo ottico, la quale dalle fibre di questo nervo viene condotta al cervello, ed ivi si riproduce ancora una volta nell'apparecchio terminale centrale. Secondo questo concetto, l'anima percepirebbe soltanto una seconda edizione delle impressioni sensitive, cioè quella che, negli organi centrali, riproduce la prima fattasi negli organi periferici di senso. Nessuno negherà che questo modo di vedere sia molto arbitrario: io farei inoltre osservare che è anche perfettamente inutile, perchè complica soltanto la quistione sull'essenza della percezione sensitiva, invece di semplificarla. Il gran mistero dell'essenza della sensazione rimane tale quale, tanto ammettendo l' immagine sensitiva prodotta alla periferia, quanto ammettendola riprodotta nel centro, potendo il supposto trasporto nell'organo centrale spostare, ma non risolvere la difficoltà: perchè rimane sempre da spiegare, in quale modo l'anima si approprii l' immagine riprodotta nell' organo centrale. E per questo che io trovo più semplice l'ammettere, che la qualità delle sensazioni venga già determinata entro la retina stessa; cosicchè l'anima riceverebbe

le sue impressioni direttamente dalla periferia, senza bisogno che esse vengano prima registrate in un apparecchio speciale, posto nell'encefalo ([1]).

Partendo da questo punto di vista, si dovrebbe supporre che le alterazioni le quali hanno luogo negli apparecchi terminali dei nervi sensitivi, si trasmettano direttamente alla coscienza. Riguardo a questa trasmissione, evidentemente, sono possibili due modalità diverse. Per la prima, si può supporre che l'anima tratti come farebbe di materiali indifferenti le alterazioni che hanno luogo negli organi di senso durante la loro attività fisiologica; lavorandole indipendentemente, e formandone le sue sensazioni, coll'interpretare a suo modo tutte queste alterazioni. In questo caso non vi sarebbe bisogno di un rapporto determinato fra la natura dell'alterazione materiale, che ha luogo nell'organo terminale, e la qualità della sensazione da essa prodotta: come un rapporto determinato non esiste fra la figura di una parola stampata e l'essenza della cosa da essa significata. Anzi, con questa teoria d'interpretazione, si potrebbe benissimo ammettere una differenza fondamentale, e perfino una antitesi diametrale, fra la natura objettiva del segno ed il modo nel quale questo segno viene interpretato dall'anima. Cosicchè non sarebbe illogico il supporre, che l' anima interpreti le oscillazioni *C* di un pelo uditivo come il tuono *A*, od all'opposto le oscillazioni *A* del pelo uditivo come il tuono *C*. Il raffreddamento delle terminazioni nervose, che servono al senso di temperatura, potrebbe essere interpretato come aumento di temperatura, ed il riscaldamento come diminuzione. Nel campo delle sensazioni ottiche si potrebbe supporre, che una retina diventata gialla, o una retina diventata azzurra, per l'anima non avesse necessariamente il significato di giallo o di azzurro, ma p. e. di rosso o di verde, o anche all' opposto di azzurro o di giallo.

Ecco la prima possibilità, che voglio chiamare la *teoria dell' interpretazione* e che finora ha dominato esclusivamente nella fisiologia dei sensi. Rimpetto a questa, la *teoria dell' identità,* accentua l'idea di un rapporto determinato e necessario fra il processo materiale che, nell'organo periferico, accompagna la sensazione, e l'impressione subjettiva prodottane nell'anima. Verrebbe in appoggio di questa teoria una grande parte dei singoli risultati riferiti in questa Memoria; ed anche nel campo degli altri sensi, in ispecie dell' udito, del gusto e del senso di temperatura, molti fatti si riunirebbero facilmente nel concetto seguente:

« Che per l'azione dei differenti agenti (luce e colori, onde acustiche, calore, sostanze saporite) negli organi terminali dei nervi di senso vengano prodotte alcune

([1]) Se questo concetto sull' esistenza di speciali apparecchi terminali nell'encefalo fosse giusto, si dovrebbe aspettarsi che nel cervello le origini anatomiche del nervo ottico e del nervo acustico mostrassero una speciale complicazione ed una ricchezza di struttura, corrispondenti alla grande varietà e molteplicità delle sensazioni che dovrebbero riprodurvisi. Ma questo non è il caso: le origini di questi due nervi si comportano anatomicamente tali quali le origini degli altri nervi sensitivi ordinari.

Aggiunta posteriore. Dopo avere già scritta questa Nota, lessi la bella Memoria di W. Mueller sulla retina, nella quale, quantunque con argomenti del tutto diversi, pure viene propugnato il medesimo modo di vedere. (*Ueber die Stammesentwickelung des Sehorgans der Wirbelthiere.* Leipzig 1875, p. 52).

alterazioni objettive, identiche al contenuto delle sensazioni e delle idee subjettive che da esse vengono suscitate.

Se fosse possibile una applicazione completa di questo concetto ai singoli organi di senso, ne risulterebbe una soluzione del tutto nuova dell' antico problema sulla realtà del contenuto della nostra sensazione (1).

Roma, 6 marzo 1877.

(1) Queste considerazioni sulla teoria dell'interpretazione, e sulla teoria dell' identità, si riferiscono non tanto agli organi di senso dell'uomo che sono altamente sviluppati, quanto allo sviluppo che hanno gli organi di senso e le loro energie speciali nella serie animale.

Spiegazione della Tavola.

Nella prima serie dei rettangoli colorati sono rappresentati, nella loro originale intensità, il colore fondamentale della retina e le modificazioni fisiologiche che subisce sotto l'azione dei diversi colori. Fig. 1 a rappresenta il colore fondamentale della retina (rosso retinico, *Schroth*) inalterato. A sinistra di essa, nella fig. 2 a è riprodotta la modificazione del colore fondamentale per l'azione dei raggi rossi. Nelle altre due figure a destra si osservano i diversi gradi della modificazione prodotta dai raggi ad onde più brevi (verdi ed azzurri violacei). La fig. 3 a rappresenta la modificazione del colore fondamentale, che segue una breve o poco intensa azione della luce verde. Nella fig. 4 a è rappresentato l'effetto che producono i raggi verdi, quando agiscono con più intensità o con più lunga durata, o i raggi azzurri e violacei con una breve o poco intensa azione.

Nella seconda serie dei rettangoli colorati sono rappresentati gli sbiadimenti dei colori della prima serie, in guisa che ogni sbiadimento corrisponda al colore sovrastante. Fig. 1 b rappresenta il colore fondamentale dileguantesi. Fig. 2 b rappresenta lo sbiadimento della modificazione prodotta per l'azione dei raggi rossi. Fig. 3 b riproduce la tinta che si osserva nello sbiadimento del colore 3 a, e nella fig. 4 b si osserva il colore, che mostra la modificazione 4 a, quando sbiadisce Questa ultima tinta 4 b rappresenta nello stesso tempo un alto grado dello sbiadimento fisiologico, che si ottiene tenendo la retina esposta alla luce con onde brevi. e per questo fatto potrebbe entrare anche a far parte della prima serie, nella quale formerebbe un ultimo rettangolo 5 a.

Nelle ultime figure, da 5 sino a 9, è rappresentato il mosaico dei bastoncelli della retina nei suoi diversi stati fisiologici. La figura 5 rappresenta la retina normale dopo una dimora prolungata nell'oscurità. I bastoncelli rossi mostrano il colore fondamentale, ed i pochi bastoncelli verdi, un verde molto pallido. Nella figura 6 è riprodotto l'aspetto che prende la retina dopo l'azione della luce rossa. I bastoncelli rossi appaiono di una tinta rosso-brunastra, mentrechè i bastoncelli verdi sono colorati in un verde molto più intenso. Le ultime tre figure, da 7 sino a 9, rappresentano tre gradi successivi dell'alterazione della retina per mezzo dei raggi ad onde più brevi. Tutte le tre figure mostrano aumentato il numero dei bastoncelli verdi, i quali appaiono di una tinta verde oscura e torbida. I bastoncelli rossi, sono rosso purpurei nella figura 7, rosso violacei nella figura 8 e violacei sbiaditi (quasi già incolori) nella figura 9.

2 a



1 a



3 a



4 a



2 b



1 b



3 b



4 b



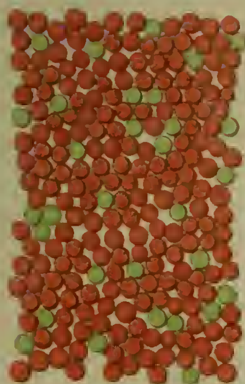
5



6



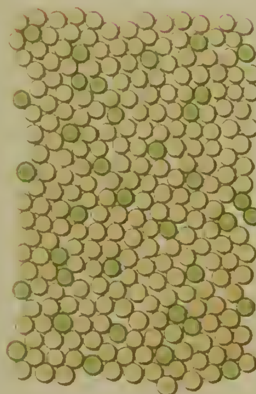
7



8



9



Salomone Roma